



**Practitioner's Docket No. 1406/184**

**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re application of: Richard Gaggl et al.

Application No.: 10/773,710

Group No.: Unassigned

Filed: February 6, 2004

Examiner: Unassigned

## For: TUNING CIRCUIT FOR A FILTER

**Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450**

## **TRANSMITTAL OF CERTIFIED COPY**

Attached please find the certified copy of the foreign application from which priority is claimed for this case:

Country: DE

Application Number: 103 08 527.0

Filing Date: 02/27/2003

Date: 5-18-04

Richard E Jenkins

Richard E. Jenkins  
Registration No. 28,428  
Customer No. 25297

**CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. § 1.8(a))**

I hereby certify that this paper (along with any paper referred to as being attached or enclosed) is being deposited with the United States Postal Service on the date shown below with sufficient postage as first class mail in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Date: 5-18-04

Gayle W Chaney  
Gayle W. Chaney

**WARNING:** "Facsimile transmissions are not permitted and if submitted will not be accorded a date of receipt" for "(4) Drawings submitted under §§ 1.81, 1.83 through 1.85, 1.152, 1.165, 1.174, 1.437 . . ." 37 C.F.R. § 1.6(d)(4).

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 103 08 527.0

**Anmeldetag:** 27. Februar 2003

**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG, 81669 München/DE

**Bezeichnung:** Abstimmschaltung für ein Filter

**IPC:** H 03 H 11/04

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 19. Februar 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, which appears to be the signature of the President of the German Patent and Trademark Office.

*Zitzenzier*

## Beschreibung

### Abstimmungsschaltung für ein Filter

- 5 Die Erfindung betrifft eine Abstimmungsschaltung für ein Filter zur Abstimmung einer Filterstufe.

Aufgrund der immer weiter ansteigenden Datenmenge werden die Frequenzabstände zwischen einzelnen Übertragungsfrequenzbändern immer enger. Daher werden immer genauere Analoge Anti-Aliasing-Filter benötigt. Zur Datenübertragung werden die Daten von einer Datenquelle mittels eines Digital-/Analogwandlers in ein analoges Übertragungssignal umgewandelt und über einen Datenübertragungskanal an einen Empfänger übertragen. In dem Empfänger werden die empfangenen Daten durch einen Digital-/Analogwandler in digitale Daten zur weiteren Datenverarbeitung umgewandelt. Die analogen Anti-Aliasing-Filter verhindern, dass der Analog-/Digitalwandler bzw. der Digital-/Analogwandler unerwünschte Signalstörungen in dem Übertragungssignal einkoppelt. Die Filter werden in der Regel auf einem Halbleiterchip integriert. Die analogen Anti-Alysing-Filter enthalten RC-Glieder, die aus Widerständen und Kondensatoren bestehen. Werden die Filter auf einen Halbleiterchip integriert kommt es bei der Herstellung zu Prozessabweichungen, wodurch die Widerstands- und Kapazitätswerte der in den Filter enthaltenen RC-Glieder von einem gewünschten Sollwert abweichen. Die Zeitkonstante ( $\tau$ ) eines RC-Gliedes ergibt sich aus dem Produkt aus dem Widerstandswert R des Widerstandes und der Kapazität C des Kondensators innerhalb des RC-Gliedes. Die Grenzfrequenz  $f_g$  einer Filterstufe mit RC-Glied hängt von der RC-Zeitkonstante der Filterstufe ab. Aufgrund der Schwankungen der Widerstands- und Kapazitätswerte variiert daher auch die Grenzfrequenz  $f_g$  der zugehörigen Filterstufe.

Um eine Schwankung der Grenzfrequenz  $f_g$  der Filterstufe zu vermeiden, werden daher die Filter nach der Herstellung gestimmt bzw. getrimmt.

5 Die Figuren 1a bis 1c zeigen verschiedene Möglichkeiten für indirektes Tuning bzw. für das Trimen von Filtern.

Bei der Figur 1a wird ein On-Chip-Widerstand  $R_0$ , der beispielweise durch einen MOS-Transistor realisiert ist, mit 10 einem externen hochgenauen Widerstand  $R_{ext}$  durch einen Vergleichsschaltkreis verglichen. Der Wert des On-Chip-Widerstandes  $R_0$  wird automatisch mit einer Kontrollspannung  $V_c$  nachjustiert bis der On-Chip-Widerstand  $R_0$  den gleichen Wert wie der hochgenaue externe Widerstand  $R_{ext}$  aufweist.

15 Bei der in Figur 1b dargestellten Anordnung wird ein Referenzfilter verwendet, das schaltungstechnisch den selben Aufbau wie das einzustellende Hauptfilter aufweist. Ein Sinus-Signal wird in das Referenzfilter eingespeist und ein Phasenkomparator vergleicht kontinuierlich die Phase am Ausgang des Hauptfilters mit der des Sinussignals. Die Kontrollspannung  $V_c$  wird solange nachjustiert bis der gewünschte Phasenwert erreicht ist.

25 Eine weitere Möglichkeit die Trimmung nach dem Stand der Technik besteht, wie in Figur 1c dargestellt darin, einen Oszillatorkomparator als Referenzschaltung einzusetzen. Dieser Oszillator ist aus denselben Schaltungselementen wie das Hauptfilter aufgebaut. Eine Vergleichsschaltung vergleicht die Phasenlage 30 des von dem Oszillatorkomparator abgegebenen Ausgangssignals mit dem eingespeisten Sinussignal. Eine Kontrollspannung wird solange nachjustiert, bis der gewünschte Phasenwert erreicht ist.

Die in den Figuren 1a bis 1c dargestellten Abstimmverfahren 35 beruhen auf einem engen Matching von Bauelementen auf dem Chip, die einen sehr geringen Abstand zueinander aufweisen.

Figur 2 zeigt ein sogenanntes Biquad-Filter nach dem Stand der Technik. Bei dem Biquad-Filter handelt es sich um ein analoges Filter zweiter Ordnung, dass volldifferenziell aufgebaut ist und zwei Filterstufen enthält. Das in Figur 2 dargestellte Biquad-Filter enthält in jeder Filterstufe ein RC-Glied, dass jeweils aus einem Widerstand R und einem Kondensator C besteht. Die Widerstandswerte und Kapazitätswerte weisen nach der Herstellung Fertigungstoleranzen auf. Diese Fertigungstoleranzen können bei den Kondensatoren beispielsweise bei plus/minus 20% und bei den Widerständen bei plus/minus 15% liegen. Durch diese Herstellungsabweichungen variieren die Zeitkonstanten ( $\tau = R \cdot C$ ) für verschiedene Filterstufen stark und die Grenzfrequenzen  $f_g$  sind verschoben. Dies wiederum führt zu einer Veränderung der jeweiligen Grenzfrequenz  $f_g$  des Filters. Bei der Integration des in Figur 2 dargestellten Biquad-Filters zweiter Ordnung nach dem Stand der Technik ist es daher notwendig dieses Filter zu trimmen bzw. abzustimmen.

Figur 3 zeigt ein Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Trimmung eines Filters nach dem Stand der Technik. Herkömmliche Abstimm- bzw. Trimmschaltungen werden als eigenständiger Schaltungsblock auf dem Chip integriert. Diese separate Trimmschaltung befindet sich auf demselben Chip wie das abzustimmende analoge Filter und die übrigen funktionellen Schaltungskomponenten. Die Trimmschaltung nach dem Stand der Technik besteht im Wesentlichen aus einer analogen Schaltung zur Messung der RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) einer Filterstufe innerhalb des Filters und aus einer digitalen Schaltung zur Auswertung der gemessenen Zeitkonstante  $\tau$ . Bei der analogen RC-Mess-Schaltung innerhalb der separaten Trimmschaltung handelt es sich um eine Schaltungsanordnung, die identisch aufgebaut ist wie die auszumessende und zu trimmende Filterstufe innerhalb des Filters. Der digitale Schaltungsteil der Trimmschaltung wertet die ausgemessene Zeitkonstante  $\tau$  der Filterstufe aus und schaltet ein in dem Filter vorgesehenes Kon-

densator-Array zum Ausgleich einer Abweichung der RC-Zeitkonstanten von einem Sollwert.

Die in Figur 3 dargestellte Schaltungsanordnung nach dem Stand der Technik zur Trimmung eines analogen Filters weist einige erhebliche Nachteile auf. Die Trimmschaltung ist auf dem Chip getrennt von dem zu trimmenden Filter angeordnet. Da die Trimmschaltung eine schaltungstechnische Nachbildung der zu trimmenden Filterstufe enthält, benötigt sie bei der Integration auf dem Chip fast genau so viel Platz wie das zu trimmende Filter selbst. Der zusätzliche Platzbedarf führt zu höheren Herstellungskosten des gesamten Chips.

Da die Trimmschaltung separat von dem zu trimmenden Filter auf dem Chip integriert ist, besteht ein räumlicher Abstand zwischen den RC-Gliedern innerhalb der zu trimmenden Filterstufe und den RC-Gliedern innerhalb der Trimmschaltung, die die Filterstufe identisch nachbilden. Aufgrund der räumlichen Trennung ist es schaltungstechnisch nur schwer möglich ein gutes Matching der Widerstände der Kondensatoren innerhalb des zu trimmenden Filters und der Widerstände der Kondensatoren innerhalb der in der Trimmschaltung enthaltenen RC-Mess-Schaltung zu erreichen. Fertigungsdifferenzen und Temperaturgefälle können zu einem unterschiedlichen Verhalten der RC-Glieder innerhalb der Trimmschaltung und innerhalb der zu trimmenden Filterstufe führen. Dies wiederum bewirkt eine fehlerhafte Abstimmung bzw. Trimmung der Filterstufe.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Abstimmschaltung zur Abstimmung einer Filterstufe zu schaffen, muss, die bei Integration einen möglichst geringen Platzbedarf aufweist und die eine hohe Genauigkeit bei der Abstimmung der Filterstufe gewährleistet.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Abstimmschaltung mit den in Patentanspruch 1 gegebenen Merkmal und durch

ein Verfahren zur Abstimmung mit den in Patentanspruch 31 angegebenen Merkmal gelöst.

Die Erfindung schafft eine Abstimmschaltung zur Abstimmung einer Filterstufe, die ein RC-Glied mit einer RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) enthält,  
wobei die RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) das Produkt aus dem Widerstandswert eines Widerstandes (R1) des RC-Gliedes und der Kapazität eines zu dem Widerstand (R1) seriell verschalteten Kondensators (C1) des RC-Gliedes ist, mit einem Komparator zum Vergleichen der an dem Potentialknoten zwischen dem Widerstand (R1) und dem Kondensator (C1) anliegenden Spannung mit einer Bezugsspannung, sowie mit einer Steuerung, die den Kondensator (C1) des RC-Gliedes umlädt, bis der Komparator anzeigt, dass die an dem Potentialknoten anliegende Spannung gleich der Bezugsspannung ist, wobei die Steuerung in Abhängigkeit von der Umladezeit ein zu dem Kondensator (C1) des RC-Gliedes parallel geschaltetes Kondensator-Array zum Ausgleich einer Abweichung der RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) des RC-Gliedes von einem Sollwert schaltet.

Die Grundidee der erfindungsgemäßen Abstimmschaltung besteht darin, die Abstimmschaltung in das zu trimmende Filter selbst zu integrieren, insbesondere die in dem abzustimmenden Filter bereits vorhandenen Kondensatoren zur Abstimmung der Filterstufe einzusetzen.

Da die für die Abstimmschaltung eingesetzten Kondensatoren mit denen der abzustimmenden Filterstufe identisch sind besteht ein perfektes Matching zwischen den Kondensatoren, so dass die Abstimmung hochgenau erfolgen kann. Darüber hinaus muss kein zusätzlicher Platz für Kondensatoren der Trimmsschaltung vorgesehen werden, so dass der benötigte Platzbedarf der Trimmschaltung insgesamt gering ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmung wird die Filterstufe in einem integrierten analogen Filter abgestimmt.

- 5 In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmung weist die Steuerung eine Ablaufsteuerung zum Ansteuern von Schaltern auf, die zum Umladen des Kondensators des RC-Gliedes vorgesehen sind.
- 10 Die Schalter sind vorzugsweise in dem analogen Filter integriert.

Bei den Schaltern handelt es sich vorzugsweise um CMOS-Schalter.

- 15 Die Ablaufsteuerung weist bei einer bevorzugten Ausführungsform einen digitalen Zähler zum Messen der Umladezeit auf.
- 20 Dabei wird der digitale Zähler der Ablaufsteuerung vorzugsweise durch ein externes Taktsignal getaktet.

Der digitale Zähler der Ablaufsteuerung zählt vorzugsweise die Anzahl der Taktzyklen des externen Taktsignals zwischen dem Empfang eines Startsignals und dem Empfang eines von dem 25 Komparator empfangenen Stoppsignals.

- Die Steuerung weist bei einer bevorzugten Ausführungsform einen mit der Ablaufsteuerung verbundenen Speicher auf.
- 30 In dem Speicher ist vorzugsweise für jeden Zählpunkt des digitalen Zählers ein kodiertes Abstimmsteuersignal zum Schalten des Kondensator-Arrays abgespeichert.
- 35 Das Kondensator-Array weist bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmung mehrere Abstimmkondensatoren auf, die in Abhängigkeit von dem kodierten

Abstimmsteuersignal parallel zu dem Kondensator des RC-Gliedes zugeschaltet werden.

Bei den Kapazitäten der Abstimmkondensatoren handelt es sich  
5 vorzugsweise um gewichtete Vielfache einer Basiskapazität.

Das Kondensator-Array ist bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmschaltung in die Filterstufe integriert.

10 Das integrierte analoge Filter ist vorzugsweise mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung angesteuert werden, zwischen einen normalen Filterbetrieb und einem Abstimmtrieb umschaltbar.

15 Die Filterstufe weist vorzugsweise einen volldifferenziell aufgebauten Operationsverstärker auf.

Der volldifferenziell aufgebaute Operationsverstärker weist  
20 vorzugsweise einen ersten Signaleingang auf, der mit einem Potentialknoten eines ersten RC-Gliedes verbunden ist, einen zweiten Signaleingang, der mit dem Potentialknoten eines zweiten RC-Gliedes verbunden ist, einen ersten Signalausgang, der über den Kondensator des ersten RC-Gliedes an den ersten Signaleingang rückgekoppelt ist,  
25 und einen zweiten Signalausgang, der über den Kondensator des zweiten RC-Gliedes an den zweiten Signaleingang rückgekoppelt ist.

30 Dabei wird der Kondensator des ersten RC-Gliedes vorzugsweise mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung gesteuert sind, solange geladen und der Kondensator des zweiten RC-Gliedes mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung gesteuert sind, solange entladen bis die an den Potentialknoten der beiden RC-Glieder anliegenden Spannungen gleich groß sind.

Der Komparator weist vorzugsweise einen ersten Signaleingang auf, der mit dem Potentialknoten des ersten RC-Gliedes verbunden ist,

5 einen zweiten Signaleingang, der mit dem Potentialknoten des zweiten RC-Gliedes verbunden ist,

einen Ausgang zur Abgabe eines Stoppsignals an die Ablaufsteuerung, wenn die an dem ersten Signaleingang anliegenden Spannung gleich der an dem zweiten Signaleingang anliegenden Spannung ist.

10

Der in der Ablaufsteuerung enthaltene Zähler erfasst vorzugsweise die Zeit bis die an den beiden Signaleingängen des Komparators anliegenden Spannungen gleich groß sind.



15 Bei einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimmschaltung weist die Filterstufe einen Operationsverstärker auf, dessen erster Signaleingang mit dem Potentialknoten des RC-Gliedes verbunden ist und dessen Signalausgang über den Kondensator des RC-Gliedes an den Signaleingang rückgekoppelt ist.

20

Dabei weist der Komparator vorzugsweise einen ersten Signaleingang auf, der mit dem Signalausgang des Operationsverstärkers verbunden ist,

25

einen zweiten Signaleingang, an dem die Bezugsspannung anliegt und einen Ausgang zur Abgabe eines Stoppsignals, an die Ablaufsteuerung, wenn die an dem ersten Eingang anliegende Spannung gleich der Bezugsspannung ist.



30

Der zweite Eingang des Komparators wird vorzugsweise mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung gesteuert werden, alternativ an eine erste Referenzspannungsquelle, die eine erste Referenzspannung generiert, oder an eine zweite Referenzspannungsquelle, die eine zweite Referenzspannung generiert, geschaltet.

35

Der Kondensator des RC-Gliedes ist vorzugsweise mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung gesteuert sind, alternativ an die erste Referenzspannungsquelle zum Entladen des Kondensators oder an die zweite Referenzspannungsquelle 5 zum Aufladen des Kondensators geschaltet.

Der Kondensator wird vorzugsweise mittels der durch die Ablaufsteuerung gesteuerten Schalter solange umgeladen, bis an dem ersten Eingang des Komparators die erste Referenzspannung 10 anliegt und der Kondensator wird anschließend mittels der durch die Ablaufsteuerung gesteuerten Schalter solange entgegengesetzt umgeladen, bis an dem ersten Eingang des Komparators wieder die zweite Referenzspannung anliegt.

Der in der Ablaufspannung enthaltene Zähler erfasst vorzugsweise die gesamte Zeit zum Umladen und zum entgegengesetzten Umladen des Kondensators.

Bei den analogen Filtern handelt es sich vorzugsweise um ein 20 Anti-Aliasing-Filter.

Das analoge Filter ist vorzugsweise ein XDSL-Anti-Aliasing-Filter.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem 25 analogen Filter um einen Biquad-Filter.

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das analoge Filter volldifferenziell aufgebaut.

Das analoge Filter weist vorzugsweise mehrere Filterstufen 30 auf.

Die Erfindung schafft ferner ein Verfahren zur Abstimmung einer Filterstufe, die ein RC-Glied mit einer RC-Zeitkonstanten enthält, wobei die RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) das Produkt aus dem Widerstandswert eines Widerstandes (R1) des RC-Gliedes und 35

der Kapazität eines zu dem Widerstand ( $R_1$ ) seriell verschalteten Kondensators ( $C_1$ ) des RC-Gliedes ist, wobei das Verfahren folgenden Schritte aufweist, nämlich das Umladen des Kondensators ( $C_1$ ) von mindestens einem RC-Glied der Filterstufe,  
5 sowie das Messen der Umladezeit bis die an dem Potentialknoten zwischen dem Widerstand ( $R_1$ ) und dem Kondensator ( $C_1$ ) des RC-Gliedes anliegende Spannung eine Bezugsspannung erreicht, sowie das Schalten eines parallel zu dem Kondensator ( $C_1$ ) des RC-Gliedes verschalteten Kondensator-Arrays in Abhängigkeit  
10 von der gemessenen Umladezeit zum Ausgleich einer Abweichung der RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) des RC-Gliedes von einem vorbestimmten Sollwert ( $\tau_{\text{SOLL}}$ ).

Der Kondensator des RC-Gliedes wird vorzugsweise vor dem Abstimmen der Filterstufe auf eine bestimmte erste Bezugsspannung geladen.  
15

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Kondensator zur Abstimmung der Filterstufe solange umgeladen bis die an dem Kondensator anliegende Spannung gleich einer zweiten Bezugsspannung ist und anschließend solange entgegengesetzt umgeladen bis die an dem Kondensator anliegende Spannung wieder gleich der ersten Bezugsspannung ist.  
20

25 Dabei werden die beiden Umladezeiten zum Umladen des Kondensators vorzugsweise als Gesamtzeit gemessen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Kondensator eines ersten RC-Gliedes vor dem Abstimmen der Filterstufe auf eine erste Bezugsspannung und einen Kondensator eines zweiten RC-Gliedes vor dem Abstimmen der Filterstufe auf eine zweite Bezugsspannung geladen,  
30 wobei der Kondensator des ersten RC-Gliedes solange entladen wird und der Kondensator des zweiten RC-Gliedes solange auf-  
35

geladen wird, bis die Spannung an beiden Kondensatoren gleich groß ist.

5 Dabei wird die Umladezeit, bis die beiden Spannungen an bei- den Kondensatoren gleich groß sind, vorzugsweise gemessen.

10 Im weiteren werden bevorzugte Ausführungsformen der erfin- dungsgemäßen Abstimmsschaltung und des erfindungsgemäßen Ab- stimmverfahrens zur Erläuterung erfindungswesentlicher Merk- male unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrie- ben.

Es zeigen:

15 Figur 1 verschiedene Schaltungsanordnungen zum Abstimmen von Filtern nach dem Stand der Technik;

Figur 2 ein Biquad-Filter zweiter Ordnung nach dem Stand der Technik;

20 Figur 3 ein Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Trimmung eines Filters nach dem Stand der Technik;

25 Figur 4 ein Blockschaltbild zur Erläuterung der Trimmung bei einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Abstimm- schaltung;

Figur 5 Signalablaufdiagramme zur Erläuterung der Funktions- weise der in Figur 4 dargestellten Schaltungsanordnung gemäß 30 der Erfindung;

Figur 6 ein Diagramm zur Erläuterung der Funktionsweise der in Figur 4 dargestellten Abstimmsschaltung gemäß der Erfin- dung;

Figur 7 ein Diagramm zur Erläuterung der Funktionsweise der in Figur 4 dargestellten Abstimmsschaltung gemäß der Erfindung;

5 Figur 8 eine Schaltungsanordnung eines in der erfindungsgemäßigen Abstimmsschaltung eingesetzten Kondensator-Arrays;

Figur 9 eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßigen Abstimmsschaltung zur Abstimmung eines Biquad-Filters;

10 Figur 10 ein Blockschaltbild einer zweiten Ausführungsform der erfindungsgemäßigen Abstimmsschaltung;

15 Figur 11 Signalablaufdiagramm zur Erläuterung der Funktionsweise der in Figur 10 dargestellten Abstimmsschaltung gemäß der Erfindung;

Figur 12 eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßigen Abstimmsschaltung zur Abstimmung eines Biquad-Filters.

20 In Figur 4 ist eine Schaltungsanordnung zur Erläuterung einer ersten Ausführungsform der erfindungsgemäßigen Abstimmsschaltung dargestellt. In einem abzustimmenden Filter 3 sind ein erstes RC-Glied 1 und ein zweites RC-Glied 2 enthalten. Das Filter 3 umfasst neben dem ersten und zweiten RC-Glied weitere Schaltungskomponenten, die in Figur 4 nicht dargestellt sind. Das Filter 3 wird durch eine positive Versorgungsspannung  $V_{dd}$  und durch eine negative Versorgungsspannung  $V_{ss}$  mit Spannung versorgt. Das erste RC-Glied 1 umfasst einen Widerstand R1 und einen seriell dazu verschalteten Kondensator C1. In gleicher Weise umfasst das zweite RC-Glied 2 einen Kondensator C2 und einen seriell dazu verschalteten Widerstand R2. Einen Verbindungsknoten 4 innerhalb des ersten RC-Gliedes 1, an dem der Widerstand R1 und der Kondensator C1 des RC-Gliedes 1 miteinander verbunden sind und ein Verbindungsknoten 5 innerhalb des zweiten RC-Gliedes 2 an dem der Kondensator C2 des zweiten RC-Gliedes

2 miteinander verbunden sind, sind über Leitungen 6,7 über einen ersten und zweiten Signaleingang 8,9 eines Komparators 10 verbunden. Der Komparator 10 vergleicht die im ersten Potentialknoten 4 anliegende Spannung mit der an dem zweitem 5 Potentialknoten 5 anliegenden Spannung. Der Komparator 10 weist einen Ausgang 11 auf, der über eine Steuerleitung 12 mit einem Eingang 13 einer Ablaufsteuerung 14 verbunden ist. Die Ablaufsteuerung 14 ist Teil einer Steuerung 15, die neben der Ablaufsteuerung 14 noch einen Speicher 16 enthält. Die 10 Ablaufsteuerung 14 besitzt einen digitalen Zähler. Die Ablaufsteuerung 14 erhält über einen Steuereingang 17 ein externes Startsignal zum Start eines Abstimmvorgangs für das Filter 3. Der in der Ablaufsteuerung 14 enthaltene Zähler misst die Zeit zwischen dem empfangenen Startsignal und einem 15 von Komparator 10 abgegebenen Stoppsignal. Hierzu wird die Ablaufsteuerung 14 durch ein an einen Takteingang 18 angelegtes Taktsignal CLK getaktet. Der digitale Zähler zählt die Anzahl der Taktzyklen zwischen dem Start- und dem Stoppsignal. Der Zählerwert Z wird über Leitungen 19 an eine in dem 20 Speicher 16 enthaltene Look-up-Tabelle abgegeben.

Die Ablaufsteuerung 14 steuert über Steuerleitungen Schalter an, die in dem Filter 3 zur Abstimmung des Filter vorgesehen sind. Bei der in Figur 4 dargestellten Ausführungsform gibt 25 die Ablaufsteuerung über einen Steuerausgang 20 ein erstes Steuersignal A und über einen zweiten Steuerausgang 21 ein zweites Steuersignal B ab. Das Steuersignal A steuert die Schalter 22,23 innerhalb des Filters 3 an. Das Steuersignal B steuert die Schalter 24,25 innerhalb des Filters 3 an.

30 Bevor die Ablaufsteuerung 14 über den Steuereingang 17 das Startsignal zum Starten des Abstimmvorgangs enthält, sind die Schalter 22,23 entsprechend dem Steuersignal A geschlossen und die Schalter 24,25 sind entsprechend dem Steuersignal B geöffnet. Folglich ist der Kondensator C1 des ersten RC-Gliedes 1 vor Beginn des Abstimmvorgangs vollständig entladen 35 und der Kondensator C2 innerhalb des zweiten RC-Gliedes 2 ist

vollständig geladen. Nachdem die Ablaufsteuerung 14 das Startsignal zum Starten des Abstimmvorgangs erhalten hat, werden die Schalter 22,23 geöffnet und die Schalter 24,25 geschlossen. In der Folge wird der Kondensator C1 innerhalb des 5 ersten RC-Gliedes 1 aufgeladen und der Kondensator C2 innerhalb des zweiten RC-Gliedes 2 entladen. Der Komparator 10 vergleicht die an den Spannungspotentialknoten 4,5 anliegenden Spannungen und gibt ein Stoppsignal über die Steuerleitung 12 an die Ablaufsteuerung 14 ab, sobald die beiden Spannungen gleich groß sind. Die Ablaufsteuerung 14 misst die Umladezeit des getakteten digitalen Zählers und gibt den Zählerwert Z an den Speicher 16 ab. Im Speicher 16 befindet sich eine abgespeicherte Tabelle bei der für jeden Zählerwert ein kodiertes Abstimmsteuersignal gespeichert ist. Das Abstimmsteuersignal besteht aus mehreren kodierten Steuersignalbits Zi zum Schalten von mehreren Schaltern innerhalb eines Kondensator-Arrays 26. Das Kondensator-Array 26 besteht aus mehreren Kondensatoren, die parallel zu den abzustimmenden Kondensatoren C1, C2 innerhalb des Filter 3 verschaltet sind. 10 15 20 25 30 35

Das Kondensator-Array 26 ist in dem Filter 3 integriert. Das Kondensator-Array 26 wird über Steuerleitungen 27 entsprechend dem ausgelesenen kodierten Abstimmsteuersignal angesteuert. Die RC-Glieder 1,2 sind RC-Glieder einer Filterstufe innerhalb des Filters 3. Das Filter 3 kann neben der abzustimmenden Filterstufe auch weitere Filterstufen enthalten. Die Ablaufsteuerung 15 lädt den Kondensator C1 des RC-Gliedes 1 solange um, bis der Komparator 10 anzeigt, dass die an dem Potentialknoten 4 anliegende Spannung gleich einer Bezugsspannung, nämlich der an dem Potentialknoten 5 anliegenden Vergleichsspannung, ist. Die Steuerung 15 schaltet in Abhängigkeit von der durch den digitalen Zähler gemessenen Umladezeit ein zu dem Kondensator C1 des RC-Gliedes 1 parallel geschaltetes Kondensator-Array 26, um Fertigungsabweichungen der RC-Zeitkonstanten  $\tau$  des RC-Gliedes 1 von einem Sollwert auszugleichen.

Figur 5 zeigt die Signalverläufe der in Figur 4 dargestellten Schaltungsanordnung. Zum Zeitpunkt  $t_{start}$  beginnt der Abstimmvorgang, wobei das Steuersignal A die Schalter 22,23 öffnet und das Steuersignal B die Schalter 24,25 schließt. In Abhängigkeit von der RC-Zeitkonstanten  $\tau_1=R1 \times C1$  wird das RC-Glied 1, wie in Figur 5 dargestellt, aufgeladen. In gleicher Weise wird das zweite RC-Glied 2 mit der Zeitkonstanten  $\tau_2=R2 \times C2$  entladen. In Figur 5 sind für jedes RC-Glied beispielhaft drei Verläufe für unterschiedliche Zeitkonstanten  $\tau_1$  bzw.  $\tau_2$  mit 3 verschiedenen Schnittpunkten  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  dargestellt. Bei einer Veränderung der Versorgungsspannung verschieben sich die Lade- bzw. Entladekurven der beiden RC-Glieder in gleiche Richtung, so dass sich der Schnitt ohne Veränderung der Messzeit  $\Delta t$  vertikal in dem Diagramm verschiebt. Die Messschaltung ist somit äußerst stabil gegenüber Spannungsschwankungen der Versorgungsspannung. Nach Empfang des Startsignals zählt der digitale Zähler innerhalb der Ablaufsteuerung 14 getaktet durch das Taktsignal CLK die Anzahl der Taktimpulse zwischen dem empfangenen Startsignal und dem von dem Komparator abgegebenen Stoppsignal.

$$\Delta t = t_{CLK} \times N = \ln(2) \times R \times C$$

Figur 6 zeigt beispielhaft den Zählerwert Z des Zählers innerhalb der Ablaufsteuerung 14 in Abhängigkeit von der Prozessabweichung. Bei einer normierten Prozessabweichung von 1 beträgt der Zählerwert beispielweise 100. Die normierte Prozessabweichung 1 entspricht dem Sollwert, d.h. die RC-Zeitkonstante  $\tau$  entspricht genau der gewünschten RC-Zeitkonstante  $\tau_{soll}$ . Je größer die Prozessabweichung von dem gewünschten Sollwert ist, desto stärker ist die Abweichung des Zählerwertes von dem gewünschten Sollzählerwert Z=100.

Figur 7 zeigt ein Beispiel für einen Abstimmcode in Abhängigkeit von dem Zählerwert. Der Abstimmcode besteht bei dem in Figur 7 dargestellten Beispiel aus vier Abstimmsteuerungsbits, mit dem sich Werte zwischen 0 und 15 darstellen lassen. Bei

dem Zählerwert 100 beträgt der Abstimmsteuerungscode beispielsweise 5, der binär kodiert der Bitfolge 0101 entspricht. Das Abstimmsteuersignal wird über die Steuerleitungen 27, die bei dem gewählten Beispiel vier Steuerleitungen umfassen, an ein  
5 Kondensator-Array 26 im Filter 3 aus dem Speicher 16 ausgelesen.

Die vier Steuerungsbits  $Z_0, Z_1, Z_2, Z_3$ , steuern die in Figur 8 dargestellten Schalter 26a, 26b, 26c, 26d innerhalb des Kondensator-Arrays 26. Das Kondensator-Array 26 enthält mehrere parallel verschaltete Kondensatoren 28a, 28b, 28c, 28d die über die Schalter 26a, 26d parallel zuschaltbar sind. Jeder der abstimmbaren Kondensatoren C1, C2 innerhalb des Filters 3 verfügt über ein zugehöriges Kondensator-Array mit dem die 15 RC-Zeitkonstante des RC-Gliedes 1 bzw. des RC-Gliedes 2 und die Steuerung 15 veränderbar ist. Die Steuerung 15 schaltet die Kondensatoren 28a bis 28d des Kondensator-Arrays 26 in Abhängigkeit von der gemessenen Umladezeit an den zugehörigen Kondensator innerhalb des Filters 3 zu, um die Abweichungen 20 der RC-Zeitkonstante des RC-Gliedes von einem Sollwert  $\tau_{\text{soll}}$ , die aufgrund des Herstellungsprozesses entstehen, auszugleichen. Bei der in Figur 4 dargestellten Vorgehensweise besteht ein Vorteil darin, dass die Trimmung unabhängig von Spannungseinflüssen verfolgt. Einzig und allein die Prozessabweichung beeinflusst das Messergebnis der Zeitkonstanten  $\tau$ . Das 25 in Figur 8 dargestellte Kapazitäts-Array 26 umfasst mehrere Abstimmkondensatoren 28a bis 28d, die vorzugsweise mehr gewichtete Vielfache einer Basiskapazität  $C_{\text{basis}}$  sind. Mit N-Abstimmkondensatoren lassen sich  $2^N$  verschiedene Zustände und 30 Kapazitätswerte zum Ausgleich von Prozessschwankungen einstellen. Bei einer Bitanzahl von N=4 erhält man 16 verschiedene Kapazitätswerte.

Figur 9 zeigt eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung zur 35 Abstimmung eines Biquad-Filters. Der schaltungstechnische Aufbau eines herkömmlichen Biquad-Filters ist in Figur 2 dargestellt. Das Biquad-Filter besteht aus zwei Filterstufen,

wobei jede Filterstufe jeweils volldifferenziell ausgebildet ist. Bei dem in Figur 9 dargestellten Beispiel werden die beiden RC-Glieder, nämlich das RC-Glied 1 und das RC-Glied 2 der ersten Filterstufe des Biquad-Filters durch die erfundensgemäße Abstimmschaltung abgestimmt. Das Biquad-Filter weist eine erste Filterstufe mit einem volldifferenziell aufgebauten Operationsverstärker 29 und eine zweite Filterstufe mit einem volldifferenziell aufgebauten Operationsverstärker 30 auf. Das Eingangssignal des abzustimmenden Filters liegt im Normalbetrieb über Widerstände R1, R2 Signaleingang des Operationsverstärkers 29 an. Das Ausgangssignal des Operationsverstärkers  $U_{out}$  wird von den Signalausgängen des Operationsverstärkers 30 der zweiten Filterstufe abgegeben. Die Signalausgänge des zweiten Operationsverstärkers 30 sind über Rückkoppelwiderstände R5, R5' an die Signaleingänge des ersten Operationsverstärkers 29 rückgekoppelt. Die Signaleingänge des ersten Operationsverstärkers 29 sind jeweils mit einem Verbindungsknoten 4,5 der beiden RC-Glieder 1,2 verbunden. Die Potentialknoten 4,5 der beiden RC-Glieder 1,2 sind über Leitungen 6,7 mit den Signaleingängen des Komparators 10 verbunden. Die digitale Ablaufsteuerung 14 gibt drei Steuersignale A, B, C ab. Die Steuersignale A, B, C steuern verschiedenen Schalter, die in dem Biquad-Filter integriert sind. Bei den Schaltern handelt es sich vorzugsweise um CMOS-Schalter. Nach Empfang eines Startsignals schaltet die digitale Ablaufsteuerung 14 von einem normalen Filterbetrieb auf einen Abstimmbetrieb um. Hierzu öffnet die digitale Ablaufsteuerung alle Schalter die in Figur 9 mit AQ bezeichnet sind, und schließt gleichzeitig alle Schalter, die mit A bezeichnet sind. Durch Öffnen der Schalter AQ wird die erste Filterstufe des Biquad-Filters von der zweiten Filterstufe getrennt. Die beiden Differenzoperationsverstärker 29,30 werden Power-down geschaltet. Ferner schließt die Ablaufsteuerung 14 die mit B, C in Figur 9 gekennzeichneten Schalter. Hierdurch wird ein definierter Zustand für die anschließende Messung der Zeitkonstanten  $\tau$  hergestellt. Zum Starten des Messvorgangs empfängt die Ablaufsteuerung 14 das Startsignal und öffnet die

Schalter B, C. Der in der Ablaufsteuerung 14 enthaltene digitale Zähler zählt ab diesem Zeitpunkt die Takt signalflanken solange bis die Spannungen an dem Potentialknoten 4 und an dem Potentialknoten 5 gleich groß sind. Sobald der Komparator 5 10 dies erkennt, gibt er ein Stoppsignal an die nachgeschaltete digitale Ablaufsteuerung 14 ab und der darin enthaltene digitale Zähler hört auf zu zählen. Die gemessene Umladezeit T ist ein Maß für die RC-Zeitkonstante in der ersten Filterstufe des Biquad-Filters. Die Steuerung schaltet zum Ausgleich einer möglichen Abweichung der RC-Zeitkonstanten von einem Sollwert ein zu den Kondensatoren C1, C1' parallel geschaltetes Kondensator-Array 26 entsprechend dem in dem Speicher 10 16 abgespeicherten Abstimmcode.

15 Wie man aus Figur 9 erkennen kann, benötigt die erfindungsähnliche Abstimmsschaltung neben den bereits in dem Biquad-Filter enthaltenen Kondensatoren keine zusätzlichen eigenen Messkondensatoren um die Abstimmung des Biquad-Filters vorzunehmen. Daher ist der Platzbedarf im Vergleich zu herkömmlichen Abstimmsschaltungen sehr gering. Da darüber hinaus keine von den RC-Gliedern innerhalb des Biquad-Filters entfernt gelegene Referenzbauelemente zur Messung benötigt werden, bestehen auch keine Probleme hinsichtlich des Matchings.

25 Nach Abschluss des Abstimmvorgangs werden die Schalter AQ geschlossen und die Schalter A geöffnet. Das Filter arbeitet dann im normalen Filterbetrieb weiter. Das abzustimmende Filter weist zwei Betriebsmodi auf, nämlich den Abstimmbetriebsmodus und den normalen Betriebsmodus. Im Normalbetrieb ist 30 die Trimmung bzw. Abstimmung abgeschaltet. Die zusätzlich vorgesehenen integrierten Schalter beeinflussen das Filter im normalen Filterbetrieb nicht.

Bei der in Figur 9 dargestellten Ausführungsform wird lediglich die erste Filterstufe abgeglichen. Bei alternativen weiteren Ausführungsformen ist es auch möglich für jede Filterstufe eine Abstimmung vorzunehmen. Dabei kann für jede Fil-

terstufe eine eigene Abstimmung vorgesehen werden oder verschiedene Filterstufen können zur Abstimmung an eine gemeinsame Abstimmung gemultipliert werden.

- 5 Figur 10 zeigt eine weitere Ausführungsform der erfindungsge-  
mäßen Abstimmung. Bei der in Figur 10 dargestellten  
Ausführungsform werden feste Referenzspannungen eingesetzt.  
Der zweite Eingang 9 des Komparators 10 ist über die Leitung  
10 7 und Schalter A, AQ alternativ an eine erste Referenzspan-  
nungsquelle 31 oder eine zweite Referenzspannungsquelle 32  
schaltbar ist. Die beiden Referenzspannungsquellen 31, 32 lie-  
fern Bezugsspannungen für den Komparator 10.

Bei der in Figur 10 dargestellten Ausführungsform enthält die  
15 abzustimmende Filterstufe einen Operationsverstärker 33 mit  
einem ersten Signaleingang 34 und einem zweiten Signaleingang  
35. Der invertierende Signaleingang 34 bei der in Figur 10  
dargestellten Ausführungsform wird mit dem Potentialknoten 4  
20 innerhalb des RC-Gliedes 1 verbunden. Der Potenzialknoten 4  
stellt die Verbindungsstelle zwischen dem Widerstand R1 und  
dem Kondensator C1 des RC-Gliedes 1 dar. Der Operationsver-  
stärker weist einen Signalausgang 36 auf, der über eine Lei-  
tung 37 und den ersten Signaleingang 8 des Komparators 10 an-  
geschlossen ist. Der Signalausgang 36 ist über den Kondensa-  
tor C1 des RC-Gliedes an den invertierenden Signaleingang 34  
25 rückgekoppelt. Der Kondensator C1 ist über einen Schalter 38  
kurzschießbar. Der Operationsverstärker 33 bildet zusammen  
mit dem RC-Glied 1 eine Integrationsschaltung 39 innerhalb  
der abzustimmenden Filterstufe. Der Signaleingang der Integ-  
30 rationsschaltung 39 ist über Schalter 40, 41 alternativ an ei-  
ne ersten Referenzspannungsquelle 42 oder an eine Referenz-  
spannungsquelle 43 schaltbar. Die Referenzspannungsquelle 42  
ist vorzugsweise mit der Referenzspannungsquelle 31 identisch  
und die Referenzspannungsquelle 43 mit der Referenzspannungs-  
35 quelle 32. Bei der in Figur 10 dargestellten Ausführungsform  
liefern die Referenzspannungsquellen 31, 41 eine positive Re-  
ferenzspannung  $+U_{ref}$  und die Referenzspannungsquellen 32, 43

eine negative Referenzspannungsquelle  $-U_{ref}$ . Die Referenzspannungsquelle 31 ist über einen Schalter 44 und die Referenzspannungsquelle 32 über einen Schalter 45 an den zweiten Eingang 9 des Komparators 10 schaltbar. Die Schalter

5 38, 40, 41, 44, 45 werden durch die digitale Ablaufsteuerung 14 geschaltet. Bei den Schaltern handelt es sich vorzugsweise um integrierte CMOS Schalter.

Figur 11 zeigt Signalablaufdiagramme zur Erläuterung der  
10 Funktion der in Figur 10 dargestellten Abstimmsschaltung gemäß der Erfindung. Die digitale Ablaufsteuerung 14 misst die Umladezeit des Kondensators C1 zwischen zwei vorgegebenen Referenzspannungen ( $+U_{ref}$ ,  $-U_{ref}$ ). Es wird die Zeit gemessen, die die Integrationsschaltung 39 benötigt, um bis zu der oberen

15 Referenzspannung ( $+U_{ref}$ ) zu integrieren und anschließend zurück zu der ersten Referenzspannung ( $-U_{ref}$ ) zurückzuintegrieren. Um die Kapazität C1 für die Messung zunächst zu entladen wird durch die Ablaufsteuerung 14 über ein Ablaufsteuersignal B der Schalter 38 zunächst geschlossen. Nach dem Öffnen des  
20 Schalters B integriert die Integrationsschaltung 39 so lange bis die Ausgangsspannung am Signalausgang 36 den Spannungswert der negativen Referenzspannung ( $-U_{ref}$ ) erreicht hat.

Hierzu gibt der Komparator 10 ein erstes Stoppsignal bzw. Umkehrsignal an die digitale Ablaufsteuerung 14 ab, die anschließend eine Integration hin zu der positiven Referenzspannung

25 ( $+U_{ref}$ ) bewirkt, indem sie den Schalter 40 schließt und den Schalter 41 öffnet. Gleichzeitig wird der Schalter 44 geschlossen und der Schalter 45 geöffnet, so dass der Komparator an seinem zweiten Signaleingang 9 die positive Referenzspannung  $+U_{ref}$  als Vergleichsspannung erhält. Das Umschalten bzw. die Umkehrung der Integrationsrichtung erfolgt zum Zeitpunkt  $t_1$ . Die Integration in positiver Richtung erfolgt so lange bis der Komparator 10 feststellt, dass die positive Bezugsspannung zum Zeitpunkt  $t_2$  erreicht ist. Die Ablaufsteuerung 14 misst mittels der darin enthaltenen getakteten Zählers die gesamte Zeit, die zum Umladen des Kondensators C1

und zum entgegengesetzt Umladen des Kondensators benötigt wird. Die Gesamtzeit

$$\Delta T = (t_1 - t_0) + (t_2 - t_1) = z_1 \times t_{CLK} + z_2 \times t_{CLK} = z \times t_{CLK}$$

5

wird als Zählerwert Z erfasst und an die Speichereinheit 16 zum Auslesen des Abstimm-Tuningcodes abgegeben. Die in dem Kondensator-Array 26 vorgesehenen Abstimmkondensatoren 28 werden entsprechend dem ausgelesenen Abstimmcode zu dem Kondensator 10 C1 des RC-Gliedes 1 parallel zugeschaltet, um Abweichungen aufgrund von Fertigungstoleranzen auszugleichen.

Figur 11 zeigt die reine Offsetkompensation durch die Messung. Ein Vorteil der in Figur 10, 11 dargestellten Vorgehensweise besteht darin, dass beim Messen der beiden Integrationszeiten, nämlich der Integrationszeit  $\Delta t_1 = t_1 - t_0$  zum Entladen des Kondensators und der zweiten Integrationszeit  $\Delta t_2 = t_2 - t_1$  zum Aufladen des Kondensators der Einfluss von Offsetspannungen kompensiert wird. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Offsetspannung  $U_{OFFSET}$  bei dem ersten Integrationsvorgang eine größere Steigung und nach der Umkehrung der Integration eine kleinere Steigung verursacht. Somit wird die Offsetspannung  $U_{OFFSET}$  bei einem Integrationsvorgang addiert und bei dem anderen Integrationsvorgang in umgekehrter Richtung subtrahiert. Die Summe der beiden Integrationszeiten  $\Delta t_1$  und  $\Delta t_2$  ist ein Maß für die RC-Zeitkonstante des RC-Gliedes innerhalb des Filters.

Figur 12 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der erfundungsgemäßen Abstimmsschaltung zur Abstimmung eines zweistufigen Biquad-Filters. Bei der in Figur 12 dargestellten Abstimmsschaltung wird das in Figur 10 dargestellte Messprinzip eingesetzt. Bei dem abzustimmenden Filter handelt es sich um ein herkömmliches Biquad-Filter, wie es in Figur 2 dargestellt ist, wobei in dem Biquad-Filter verschiedene Schalter integriert sind. Die zusätzlich vorgesehenen Schalter sind in Figur 12 mit A, B, C, D gekennzeichnet.

Das Umschalten von dem normalen Filterbetrieb des Biquad-Filters in einen Abstimmbetrieb erfolgt durch die digitale Abstimmsteuerung indem die Schalter CQ geöffnet und die Schalter C geschlossen werden. Um den Messvorgang einzuleiten wird ein Startsignal an die digitale Ablaufsteuerung 14 abgegeben, die die Schalter A schließt und den zuvor geschlossenen Schalter B öffnet. Gleichzeitig wird der in der digitalen Ablaufsteuerung 14 enthaltene digitale Zähler gestartet.

Durch das Schließen des Schalters A wird die erste Referenzspannung  $U_{ref1}$  über den Messwiderstand  $R_{MESS}$  an dem Potentialknoten 4 des RC-Gliedes 1 angelegt. Gleichzeitig wird die zweite Referenzspannung  $U_{ref2}$  über einen geschlossenen Schalter A an den zweiten Signaleingang 9 des Komparators 10 als Bezugsspannung angelegt. Die Integrationsschaltung integriert die angelegte erste Referenzspannung  $U_{ref1}$  solange bis die integrierte Spannung am ersten Signaleingang des Komparators 10 genauso groß ist, wie die Bezugsspannung  $U_{ref2}$ . Ist dieser Zustand erreicht, signalisiert der Komparator 10 über die Steuerleitung 12 der digitalen Ablaufsteuerung 14, dass der Umkehrpunkt erreicht ist und die Ablaufsteuerung 14 öffnet anschließend die Schalter A und schließt die Schalter D. Hierdurch wird am zweiten Eingang des Komparators 10 nunmehr die erste Referenzspannung  $U_{ref1}$  als Bezugsspannung angelegt. Darüber hinaus wird die zweite Referenzspannung  $U_{ref2}$  als Eingangsspannung über einen Schalter D an den Messwiderstand  $R_M$  und den Potentialknoten 4 zur Integration angelegt. Die Integrationsschaltung integriert nun in umgekehrter Richtung so lange, bis an dem Komparatoreingang 8 die an dem Eingang 9 anliegende Referenzspannung  $U_{ref1}$  erreicht ist. Ihr Zustand wird durch den Komparator 10 erkannt, der ein Stoppsignal zur Beendigung des Messvorgangs an die digitale Ablaufsteuerung 14 abgibt. Die Ladezeit zwischen dem Zeitpunkt an dem die Schalter A geschlossen werden, bis zum Auslösen des Stoppsignals durch den Komparator 10 wird als Zählwert Z durch den digitalen Zähler erfasst und stellt ein Maß für die RC-Zeitkonstante  $\tau$  des RC-Gliedes 1 innerhalb der ersten Fil-

terstufe dar. Abhängig von dem Zählerwert  $Z$  werden die in dem Kondensator-Array 26 enthaltenen Abstimmkondensatoren entsprechend dem abgespeicherten Abstimm-Tuningcode geschaltet, sodass der Differenzwert der RC-Zeitkonstante von einem Zeit-  
5 konstanten-Sollwert  $\tau_{\text{soll}}$  zur Abstimmung des Filters 3 ausgeglichen wird.

## Patentansprüche

1. Abstimmsschaltung zur Abstimmung einer Filterstufe, die ein RC-Glied (1) mit einer RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) enthält,  
5 wobei die RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) das Produkt aus dem Widerstandswert eines Widerstandes (R1) des RC-Gliedes (1) und der Kapazität eines zu dem Widerstand (R1) seriell verschalteten Kondensators (C1) des RC-Gliedes (1) ist, mit:  
  
10 (a) einem Komparator (10) zum Vergleichen der an dem Potentialknoten (4) zwischen dem Widerstand (R1) und dem Kondensator (C1) anliegenden Spannung mit einer Bezugsspannung; und mit  
  
15 (b) einer Steuerung (15), die den Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) umlädt, bis der Komparator (10) anzeigt, dass die an dem Potentialknoten (4) anliegende Spannung gleich der Bezugsspannung ist,  
wobei die Steuerung (15) in Abhängigkeit von der Umladezeit  
ein zu dem Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) parallel ge-  
20 schaltetes Kondensator-Array (26) zum Ausgleich einer Abwei-  
chung der RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) des RC-Gliedes (1) von einem Sollwert schaltet.
  
2. Abstimmsschaltung nach Anspruch 1,  
25 dadurch gekennzeichnet,  
dass die Filterstufe in einem integrierten analogen Filter (3) enthalten ist.
  
3. Abstimmsschaltung nach Anspruch 1,  
30 dadurch gekennzeichnet,  
dass die Steuerung (15) eine Ablaufsteuerung (14) zum Ansteuern von Schaltern aufweist, die zum Umladen des Kondensators (C1) des RC-Gliedes (1) vorgesehen sind.
  
- 35 4. Abstimmsschaltung nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Schalter in dem analogen Filter (3) integriert sind.

5. Abstimmschaltung nach Anspruch 4,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Schalter CMOS-Schalter sind.
- 5 6. Abstimmschaltung nach Anspruch 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Ablaufsteuerung (14) einen digitalen Zähler zum Mes-  
sen der Umladezeit aufweist.
- 10 7. Abstimmschaltung nach Anspruch 6,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der digitale Zähler der Ablaufsteuerung (14) durch ein  
externes Taktsignal (CLK) getaktet ist.
- 15 8. Abstimmschaltung nach Anspruch 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der digitale Zähler der Ablaufsteuerung (14) die Anzahl  
(Z) der Taktzyklen des externen Taktsignals zwischen dem Emp-  
fang eines Startsignales und dem Empfang eines von dem Kompa-  
rator (10) empfangenen Stop-Signales zählt.
- 20 9. Abstimmschaltung nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Steuerung (15) einen mit der Ablaufsteuerung (14)  
verbundenen Speicher (16) aufweist.
- 25 10. Abstimmschaltung nach Anspruch 9,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass in dem Speicher (16) für jeden Zählerwert (Z) des digita-  
30 len Zählers ein codiertes Abstimmsteuersignal zum Schalten  
des Kondensator-Arrays (26) abgespeichert ist.
- 35 11. Abstimmschaltung nach Anspruch 10,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass das Kondensator-Array (26) mehrere Abstimmkondensatoren  
(28-i) aufweist, die in Abhängigkeit von dem codierten Ab-

stimmsteuersignal parallel zu dem Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) zugeschaltet werden.

12. Abstimmschaltung nach Anspruch 11,

5 dadurch gekennzeichnet, dass die Kapazitäten der Abstimm-Kondensatoren (28-i) gewichtete Vielfache einer Basiskapazität ( $C_{Basis}$ ) sind.

13. Abstimmschaltung nach Anspruch 1,

10 dadurch gekennzeichnet, dass das Kondensator-Array (26) in der Filterstufe integriert ist.



14. Abstimmschaltung nach Anspruch 3,

15 dadurch gekennzeichnet, dass das integrierte analoge Filter mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuert werden, zwischen einem normalen Filterbetrieb und einer Abstimmung umschaltbar ist.

20

15. Abstimmschaltung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass die Filterstufe einen voll-differenziell aufgebauten Operationsverstärker (29) aufweist.

25

16. Abstimmschaltung nach Anspruch 15,

dadurch gekennzeichnet, dass der voll-differenziell aufgebaute Operationsverstärker (29) einen ersten Signaleingang, der mit einem Potentialknoten (4) eines ersten RC-Gliedes (1) verbunden ist, einen zweiten Signaleingang, der mit dem Potentialknoten (5) eines zweiten RC-Gliedes (2) verbunden ist, einen ersten Signalausgang, der über den Kondensator (C1) des ersten RC-Gliedes (1) an den ersten Signaleingang rückgekoppelt ist, und einen zweiten Signalausgang, der über den Kondensator (C2) des zweiten RC-Gliedes (2) an den zweiten Signaleingang rückgekoppelt ist, aufweist.

17. Abstimmschaltung nach Anspruch 16,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Kondensator (C1) des ersten RC-Gliedes (1) mittels  
5 Schalter, die durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuert sind,  
solange geladen wird und der Kondensator (C2) des zweiten RC-  
Gliedes (2) mittels Schalter, die durch die Ablaufsteuerung  
(14) gesteuert sind, solange entladen wird, bis die an dem  
Potentialknoten (4, 5) der beiden RC-Glieder (1, 2) anliegen-  
10 den Spannungen gleich groß sind.

18. Abstimmschaltung nach Anspruch 17,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Komparator (10) aufweist:  
15 - einen ersten Signaleingang (8), der mit dem Potentialknoten  
(4) des ersten RC-Gliedes (1) verbunden ist,  
- einen zweiten Signaleingang (9), der mit dem Potentialkno-  
ten (5) des zweiten RC-Gliedes (2) verbunden ist, und  
- einen Ausgang (11) zur Abgabe eines Stopsignals an die Ab-  
laufsteuerung, wenn die an dem ersten Signaleingang (8) an-  
20 liegende Spannung gleich der an dem zweiten Signaleingang (9)  
anliegenden Spannung ist.

19. Abstimmschaltung nach Anspruch 18,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der in der Ablaufsteuerung (14) enthaltenen Zähler die  
Zeit erfasst bis die an den beiden Signaleingängen (8, 9) des  
Komparators (10) anliegenden Spannungen gleich groß sind.  
25

30 20. Abstimmschaltung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Filterstufe einen Operationsverstärker (33) auf-  
weist, dessen erster Signaleingang mit dem Potentialknoten  
(4) des RC-Gliedes (1) verbunden ist und  
35 dessen Signalausgang (36) über den Kondensator (C1) des RC-  
Gliedes (1) an den ersten Signaleingang (8) rückgekoppelt  
ist.

21. Abstimmschaltung nach Anspruch 20,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der Komparator (10) aufweist:

- 5 - einen ersten Signaleingang (8), der mit dem Signalausgang  
(36) des Operationsverstärkers (33) verbunden ist,  
- einen zweiten Eingang (9) an dem die Bezugsspannung an-  
liegt, und  
- ein Ausgang (11) zur Abgabe eines Stopsignals, an die Ab-  
10 laufsteuerung, wenn die an dem ersten Eingang anliegende  
Spannung gleich der Bezugsspannung ist.

22. Abstimmschaltung nach Anspruch 21,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- 15 dass der zweite Eingang (9) des Komparators (10) mittels  
Schalter (44, 45), die durch die Ablaufsteuerung (14) gesteu-  
ert werden, alternativ an eine erste Referenzspannungsquelle  
(31), die eine erste Referenzspannung generiert, oder an eine  
zweite Referenzspannungsquelle (32), die eine zweite Refe-  
20 renzspannung generiert, schaltbar ist.

23. Abstimmschaltung nach Anspruch 22,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- 25 dass der Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) mittels Schalter  
(44, 45), die durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuert sind,  
alternativ an die erste Referenzspannungsquelle (42) zum La-  
den des Kondensators in eine erste Richtung oder an die zwei-  
te Referenzspannungsquelle zum Laden des Kondensators (C1) in  
eine zu der ersten Richtung umgekehrte Richtung schaltbar  
30 ist.

24. Abstimmschaltung nach Anspruch 22 oder 23,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- 35 dass der Kondensator (C1) mittels der durch die Ablaufsteue-  
rung (14) gesteuerten Schalter solange umgeladen wird, bis an  
dem ersten Eingang (8) des Komparators (10) die erste Refe-  
renzspannung anliegt und der Kondensator (C1) anschließend

mittels der durch die Ablaufsteuerung (14) gesteuerten Schalter solange entgegengesetzt umgeladen wird, bis an dem ersten Eingang (8) des Komparators (10) wieder die zweite Referenzspannung anliegt.

5

25. Abstimmschaltung nach Anspruch 24,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der in der Ablaufsteuerung (14) enthaltene Zähler die gesamte Zeit zum Umladen und zum entgegengesetzten Umladen  
10 des Kondensators (C1) erfasst.

26. Abstimmschaltung nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das analoge Filter ein Anti-Aliasing Filter ist.

15

27. Abstimmschaltung nach Anspruch 26,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das analoge Filter ein xDSL-Anti-Aliasing Filter ist.

20

28. Abstimmschaltung nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das analoge Filter ein Biquad-Filter ist.

25

29. Abstimmschaltung nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das analoge Filter voll-differenziell aufgebaut ist.

30. Abstimmschaltung nach Anspruch 3,  
dadurch gekennzeichnet,

30 dass das analoge Filter mehrere Filterstufen aufweist.

31. Verfahren zur Abstimmung einer Filterstufe, die ein RC-Glied mit einer RC-Zeitkonstante enthält,  
wobei die RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) das Produkt aus dem Widerstandswert eines Widerstandes (R1) des RC-Gliedes (1) und der Kapazität eines zu dem Widerstand (R1) seriell verschalteten

Kondensators (C1) des RC-Gliedes (1) ist,  
wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

(a) Umladen des Kondensators (C1) von mindestens einem RC-  
5 Glied (1) der Filterstufe;

(b) Messen der Umladezeit bis die an dem Potentialknoten (4)  
zwischen dem Widerstand (R1) und dem Kondensator (C1) des RC-  
Gliedes (1) anliegende Spannung eine Bezugsspannung erreicht;

10 (c) Schalten eines parallel zu dem Kondensator (C1) des RC-  
Gliedes (1) verschalteten Kondensator-Arrays (26) in Abhän-  
gigkeit von der gemessenen Umladezeit zum Ausgleich einer Ab-  
weichung der RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) des RC-Gliedes (1) von ei-  
15 nem vorbestimmten Sollwert ( $\tau_{SOLL}$ ).

32. Verfahren nach Anspruch 31,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass der Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) vor dem Abstim-  
20 men der Filterstufe auf eine bestimmte erste Bezugsspannung  
geladen wird.

33. Verfahren nach Anspruch 32,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
25 dass der Kondensator (C1) zur Abstimmung der Filterstufe so-  
lange umgeladen wird, bis die an dem Kondensator (C1) anlie-  
gende Spannung gleich einer zweiten Bezugsspannung ist und  
anschließend solange entgegengesetzt umgeladen wird bis die  
30 an dem Kondensator (C1) anliegende Spannung wieder gleich der  
ersten Bezugsspannung ist.

34. Verfahren nach Anspruch 33,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die beiden Umladezeiten zum Umladen des Kondensators  
35 (C1) als Gesamtzeit gemessen werden.

35. Verfahren nach Anspruch 33,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass ein Kondensator (C1) eines ersten RC-Gliedes (1) vor dem  
Abstimmen der Filterstufe auf eine erste Bezugsspannung und,  
5 ein Kondensator (C2) eines zweiten RC-Gliedes (2) vor dem Ab-  
stimmen der Filterstufe auf eine zweite Bezugsspannung gela-  
den wird,  
wobei der Kondensator (C1) des ersten RC-Gliedes (1) solange  
entladen wird und der Kondensator (C2) des zweiten RC-Gliedes  
10 (2) solange aufgeladen wird bis die Spannung an beiden Kon-  
densatoren (C1, C2) gleich groß ist.

36. Verfahren nach Anspruch 37,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
15 dass die Umladezeit bis die beiden Spannungen an beiden Kon-  
densatoren (C1, C2) gleich groß ist, gemessen wird.

## Bezugszeichenliste

- |    |                            |
|----|----------------------------|
| 1  | RC-Glied                   |
| 2  | RC-Glied                   |
| 5  | 3 Filter                   |
|    | 4 Potentialknoten          |
|    | 5 Potentialknoten          |
|    | 6 Leitung                  |
|    | 7 Leitung                  |
| 10 | 8 Komparatoreingang        |
|    | 9 Komparatoreingang        |
|    | 10 Komparator              |
|    | 11 Komparatorausgang       |
|    | 12 Steuerleitung           |
| 15 | 13 Eingang                 |
|    | 14 Ablaufsteuerung         |
|    | 15 Steuerung               |
|    | 16 Speichereinheit         |
|    | 17 Steuereingang           |
| 20 | 18 Taktsignaleingang       |
|    | 20 Steuerausgang           |
|    | 21 Steuerausgang           |
|    | 22 Schalter                |
|    | 23 Schalter                |
| 25 | 24 Schalter                |
|    | 25 Schalter                |
|    | 26 Kondensator-Array       |
|    | 27 Steuerleitungen         |
|    | 28 Abstimmkondensatoren    |
| 30 | 29 Operationsverstärker    |
|    | 30 Operationsverstärker    |
|    | 31 Referenzspannungsquelle |
|    | 32 Referenzspannungsquelle |
|    | 33 Operationsverstärker    |
| 35 | 34 Signaleingang           |
|    | 35 Signaleingang           |
|    | 36 Signalausgang           |

37 Leitung  
38 Schalter  
39 Integrator  
40 Schalter  
5 41 Schalter  
42 Referenzspannungsquelle  
43 Referenzspannungsquelle  
44 Schalter  
45 Schalter

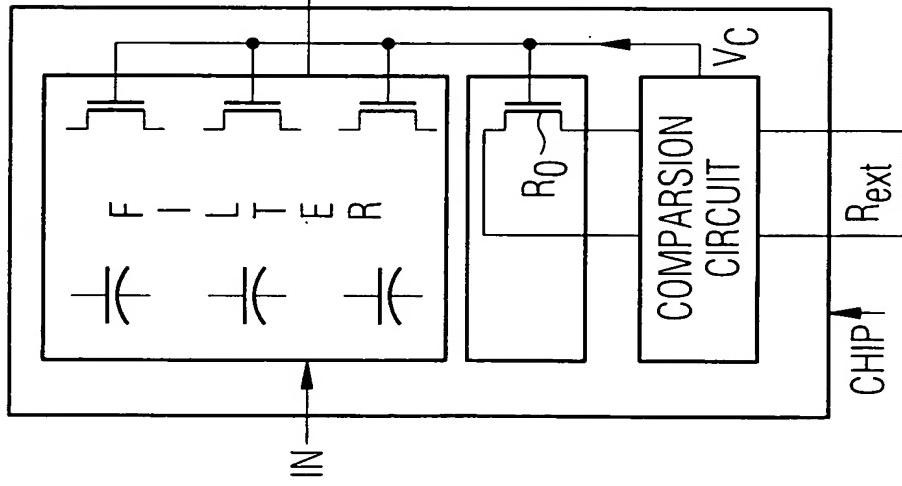
## Zusammenfassung

### Abstimmsschaltung für ein Filter

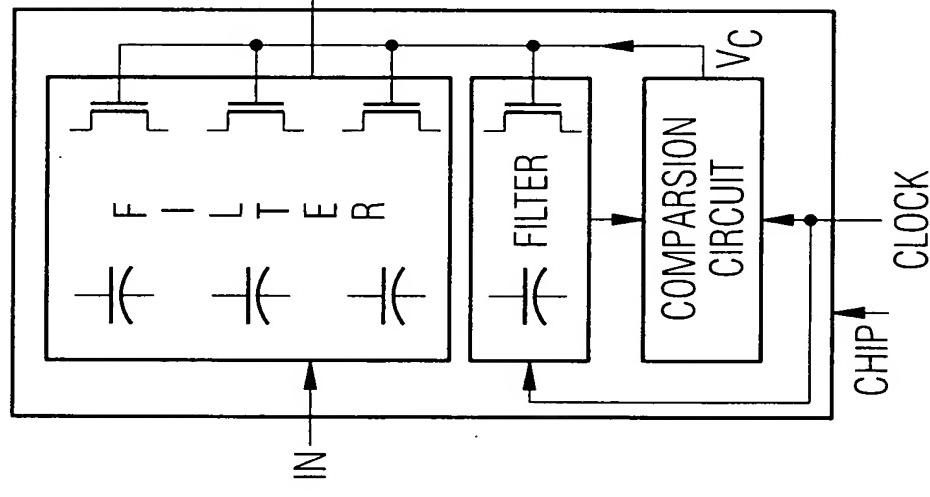
5 Die Erfindung betrifft eine Abstimmsschaltung zur Abstimmung einer Filterstufe, die ein RC-Glied (1) mit einer RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) enthält, wobei die RC-Zeitkonstante ( $\tau$ ) das Produkt aus dem Widerstandswert eines Widerstandes (R1) des RC-Gliedes (1) und der Kapazität eines zu dem Widerstand 10 (R1) seriell verschalteten Kondensators (C1) des RC-Gliedes (1) ist, mit einem Komparator (10) zum Vergleichen der an dem Potentialknoten (4) zwischen dem Widerstand (R1) und dem Kondensator (C1) anliegenden Spannung mit einer Bezugsspannung; und mit einer Steuerung (15), die den Kondensator (C1) des 15 RC-Gliedes (1) umlädt, bis der Komparator (10) anzeigt, dass die an dem Potentialknoten (4) anliegende Spannung gleich der Bezugsspannung ist, wobei die Steuerung (15) in Abhängigkeit von der Umladezeit ein zu dem Kondensator (C1) des RC-Gliedes (1) parallel geschaltetes Kondensator-Array (26) zum Ausgleich einer Abweichung der RC-Zeitkonstanten ( $\tau$ ) des RC-Gliedes 20 (1) von einem Sollwert schaltet.

(Figur 4)

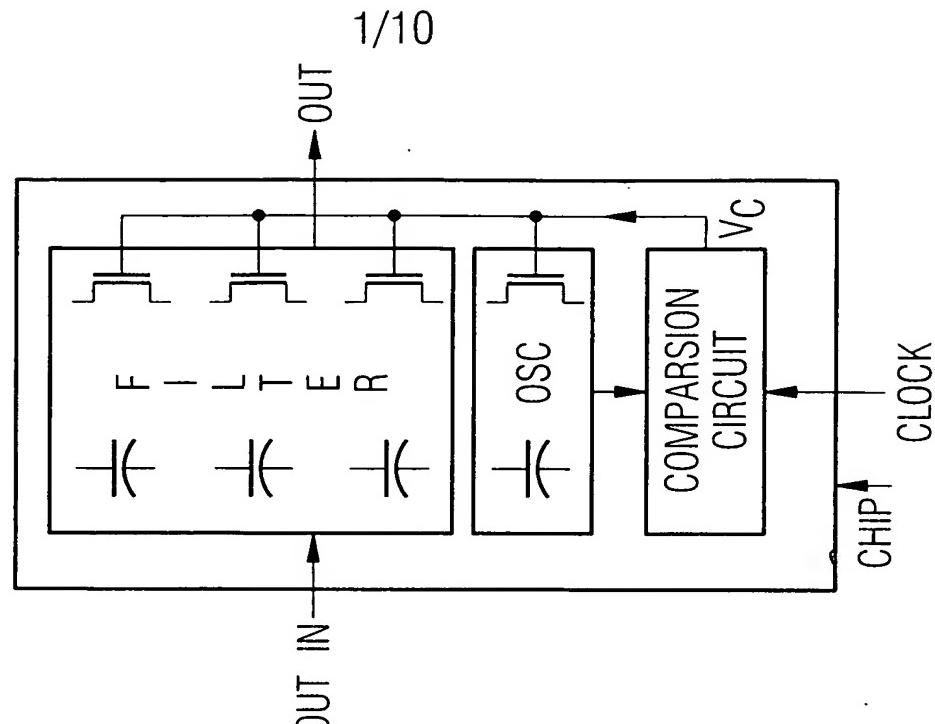
**FIG 1A**  
Stand der Technik



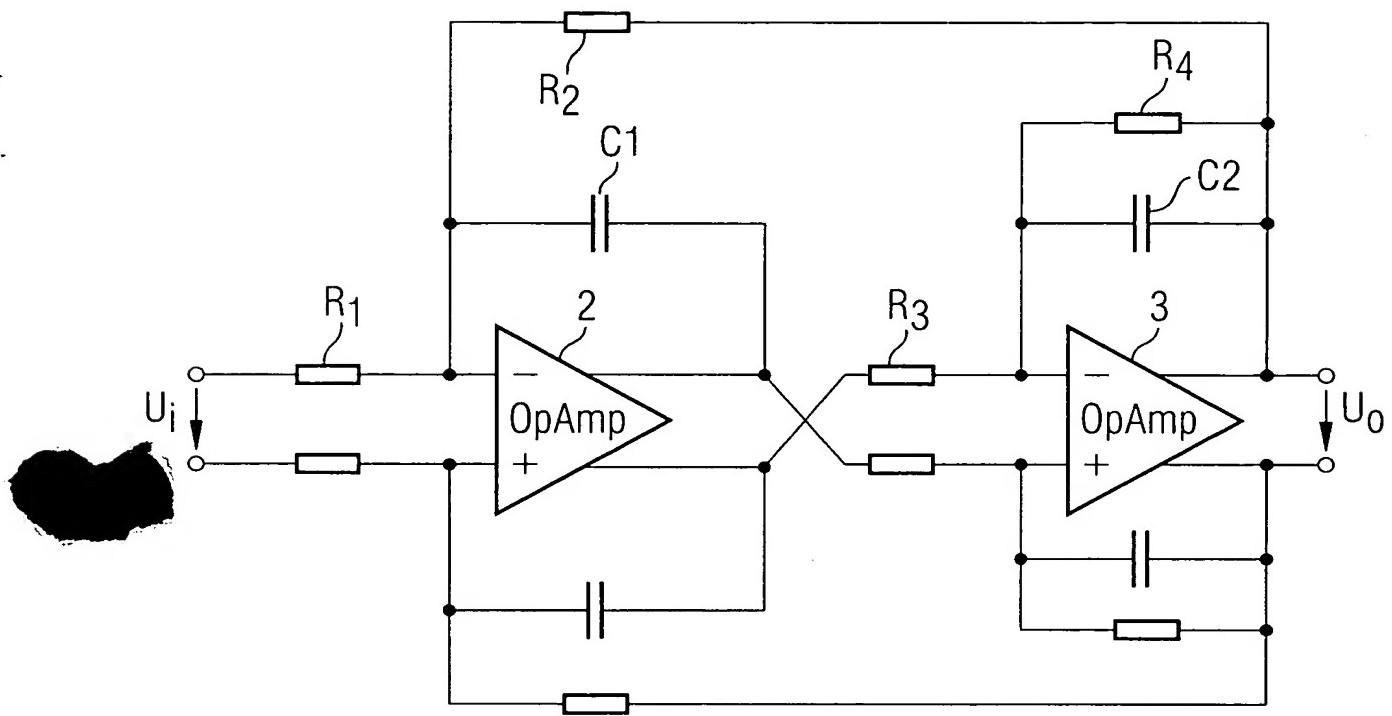
**FIG 1B**  
Stand der Technik



**FIG 1C**  
Stand der Technik



**FIG 2** Stand der Technik



**FIG 3** Stand der Technik

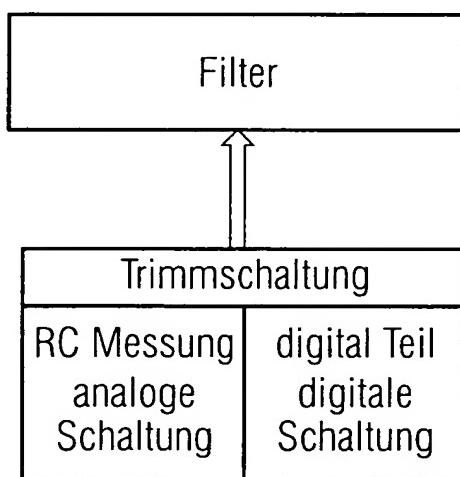


FIG 4

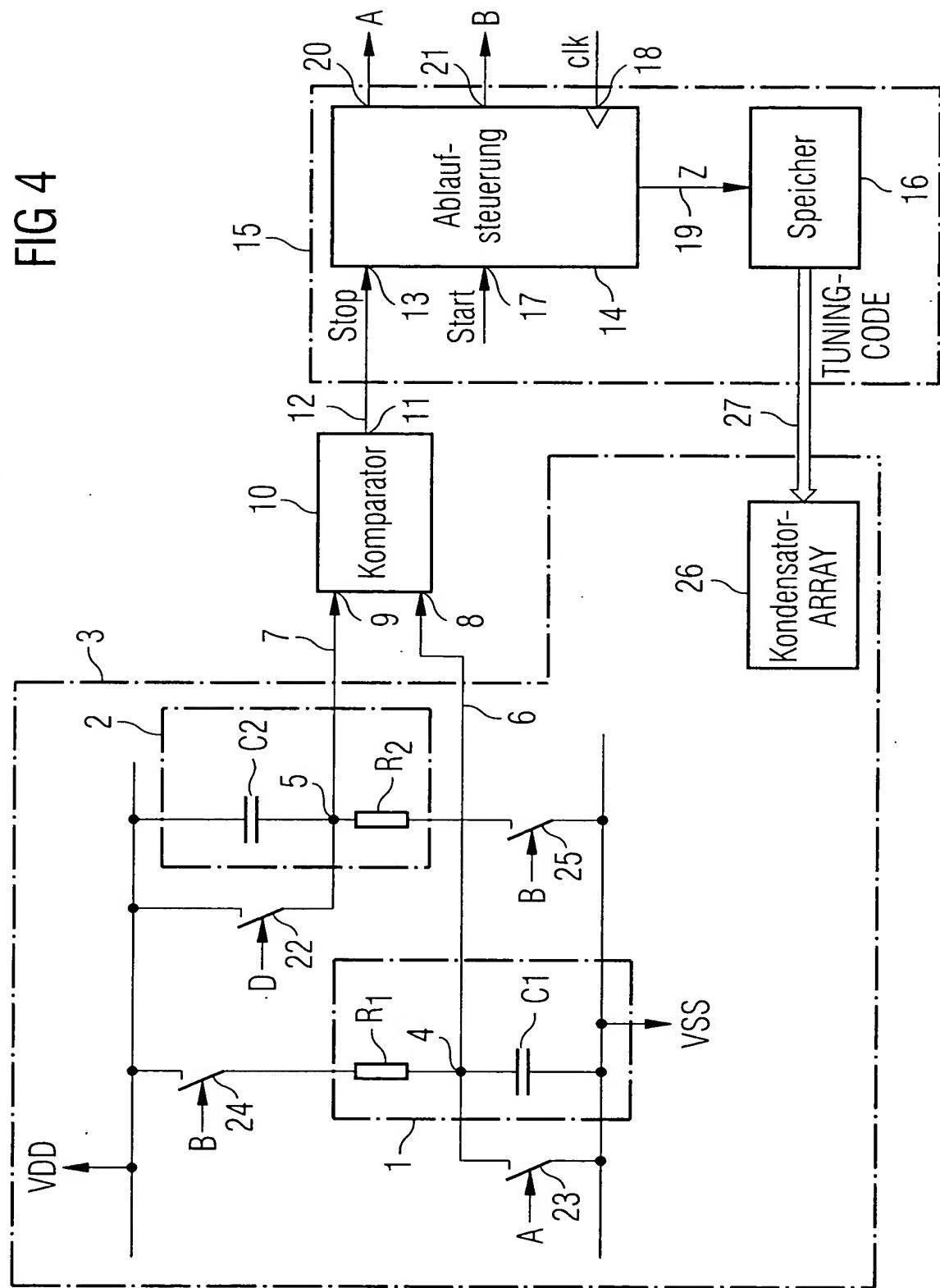


FIG 5

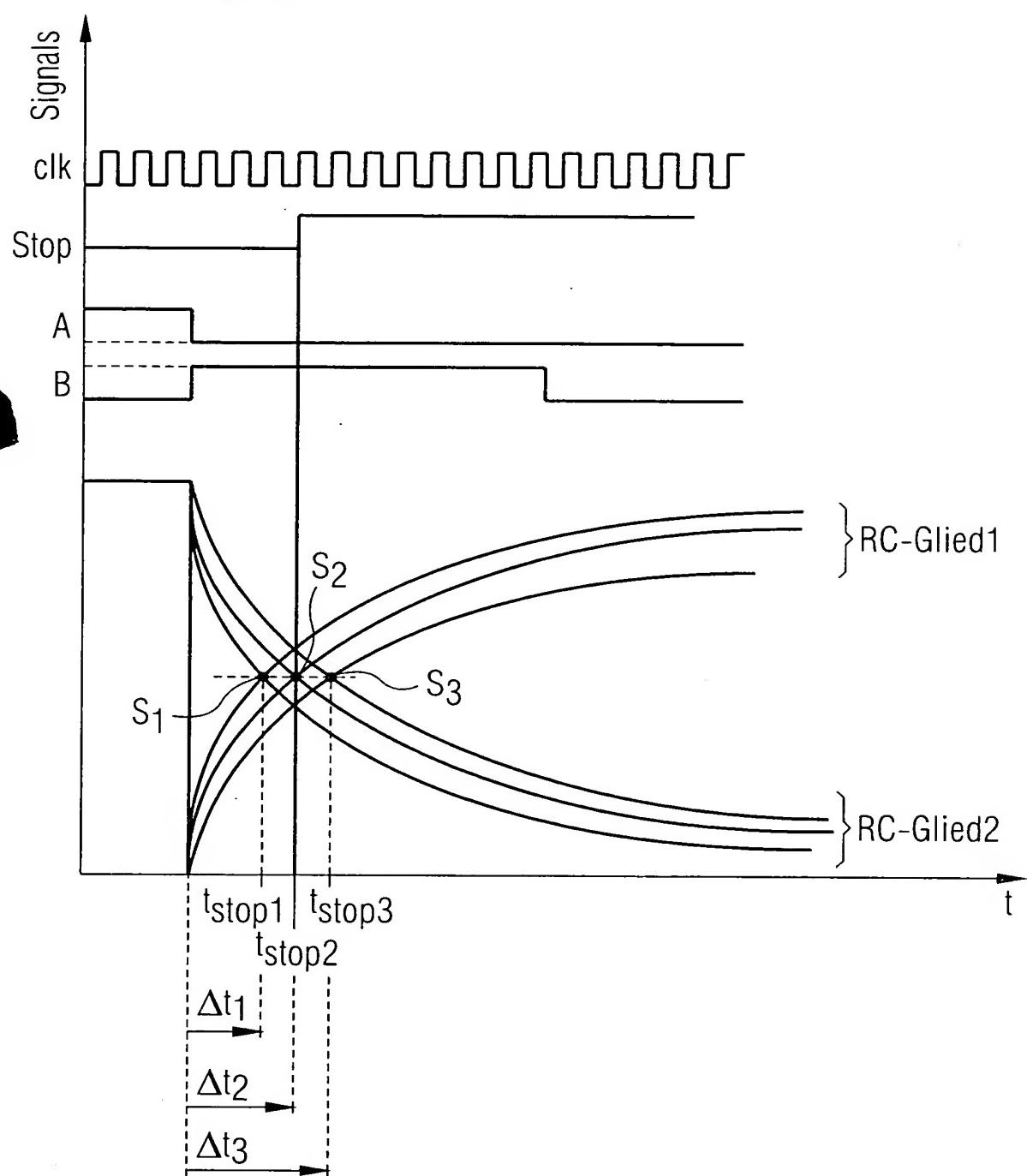


FIG 6

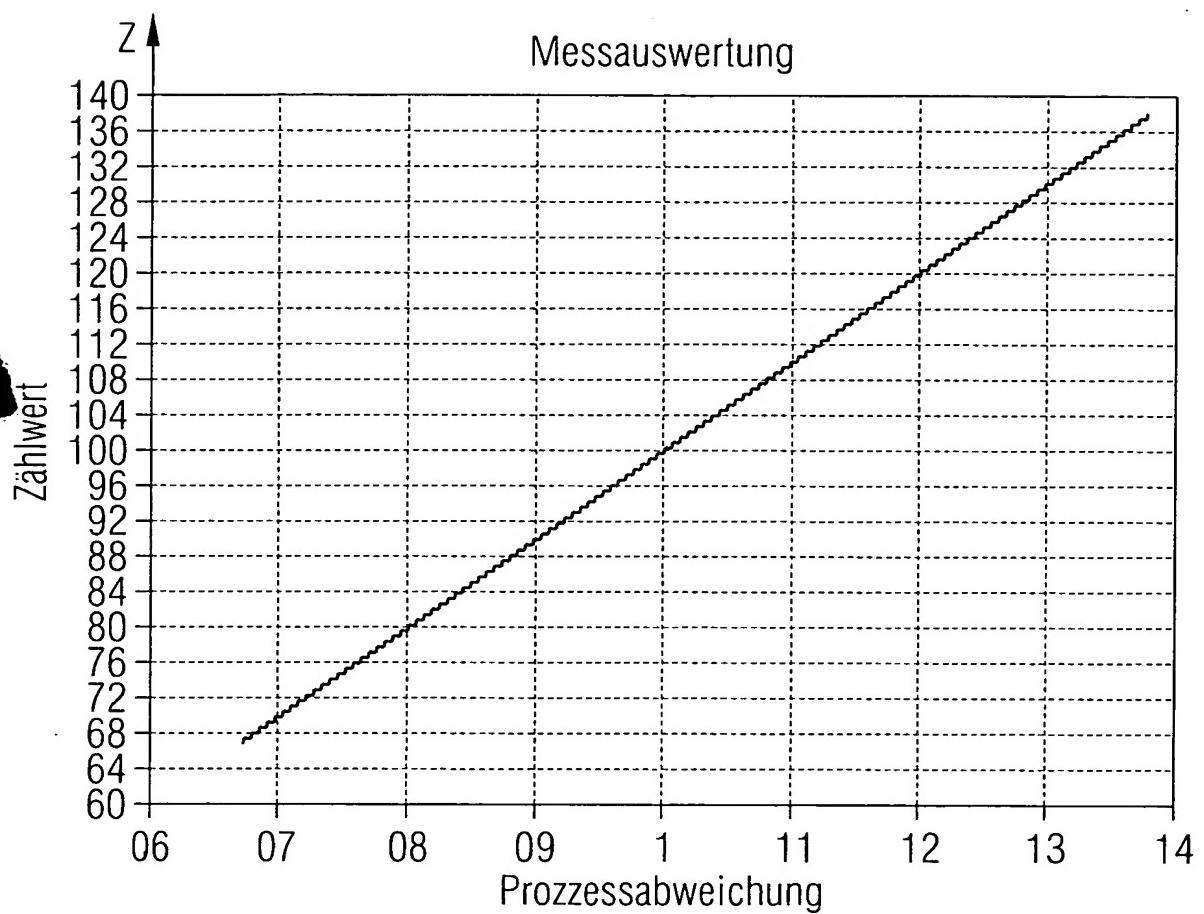


FIG 7

Zusammenhang TuningCode/Zählwert

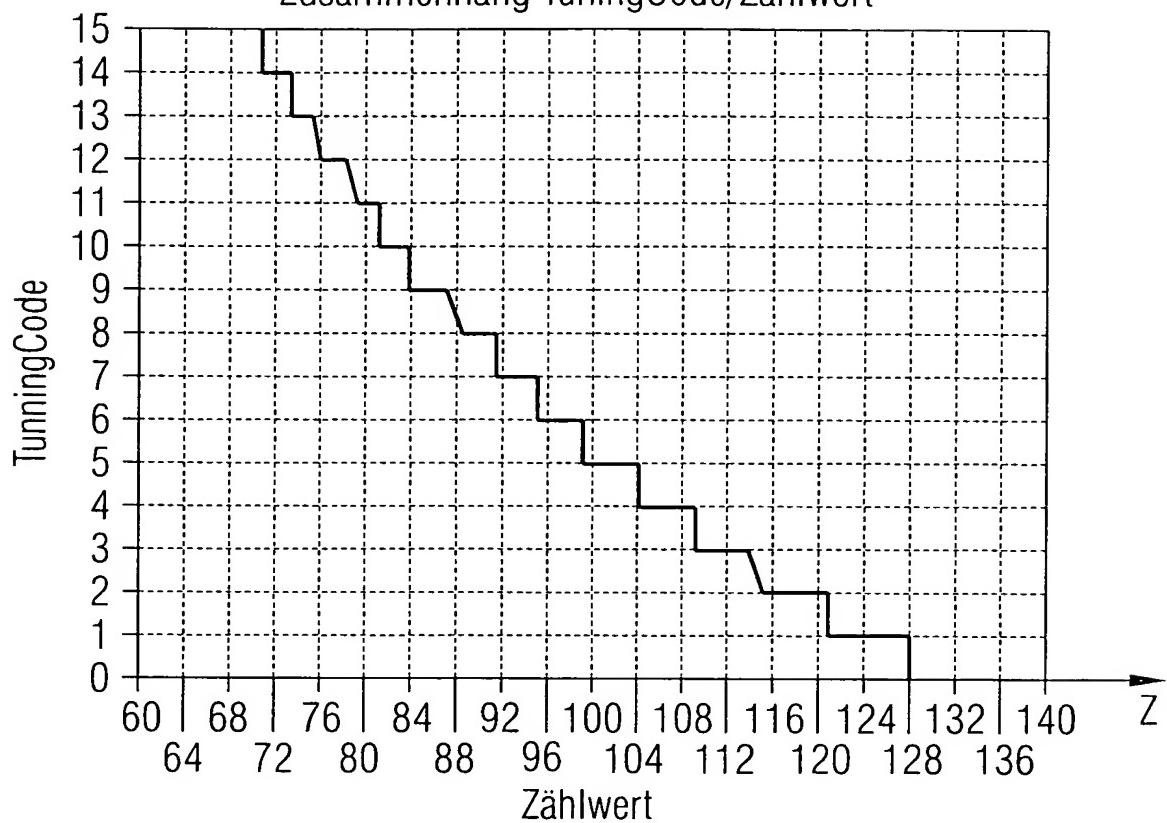


FIG 8

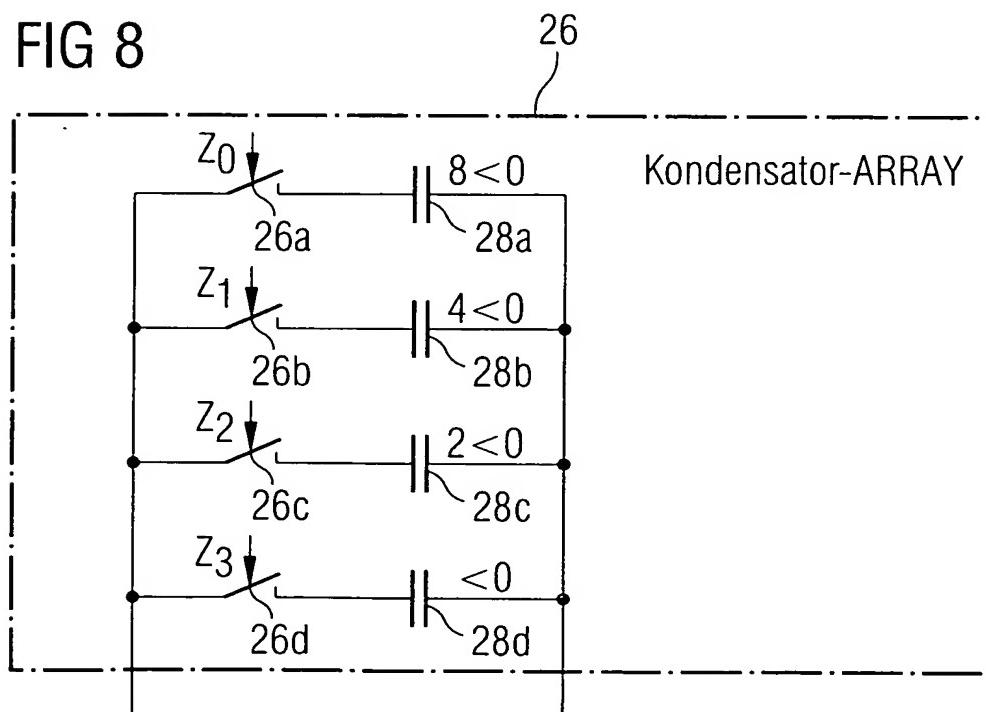
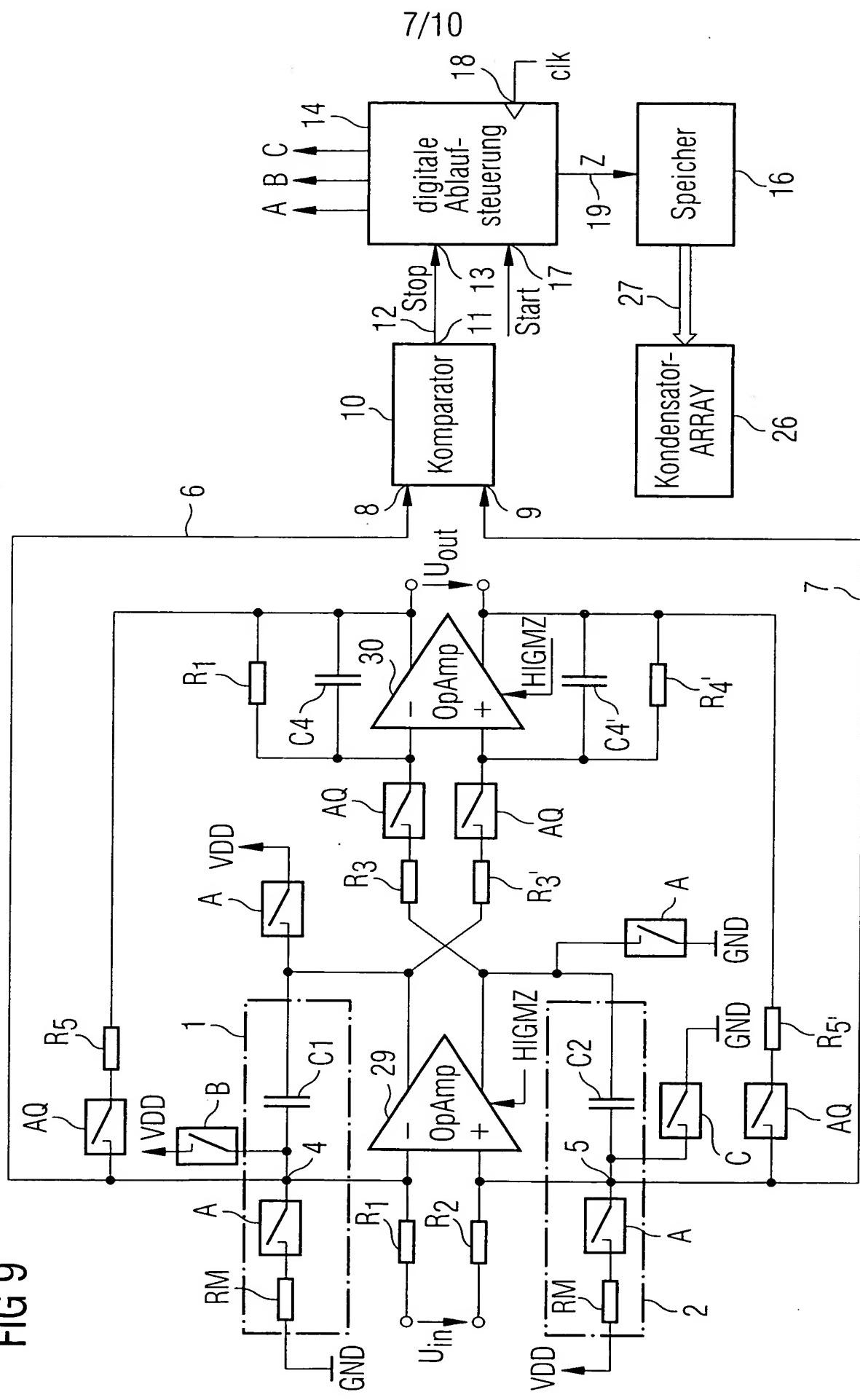


FIG 9



**FIG 10**

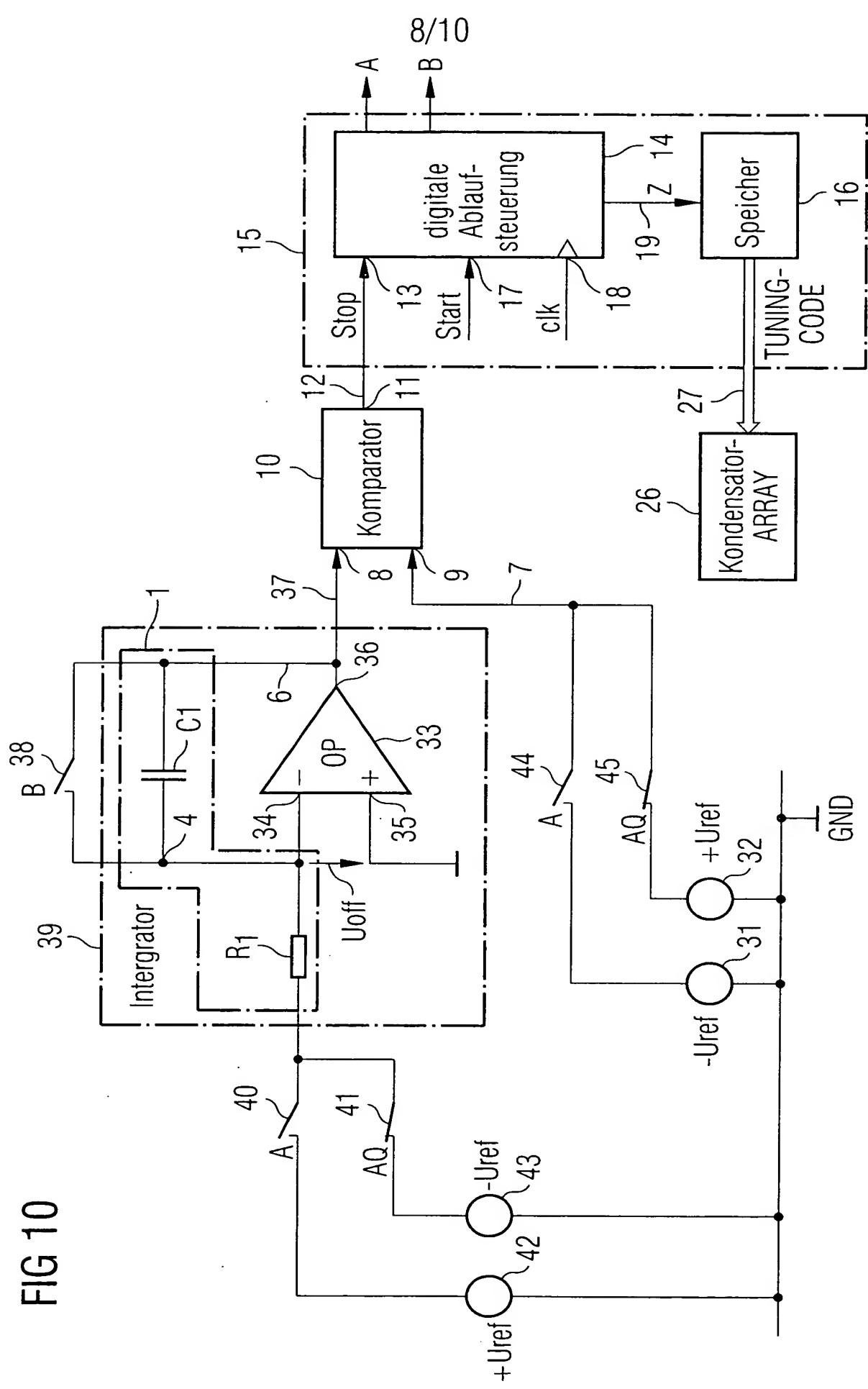
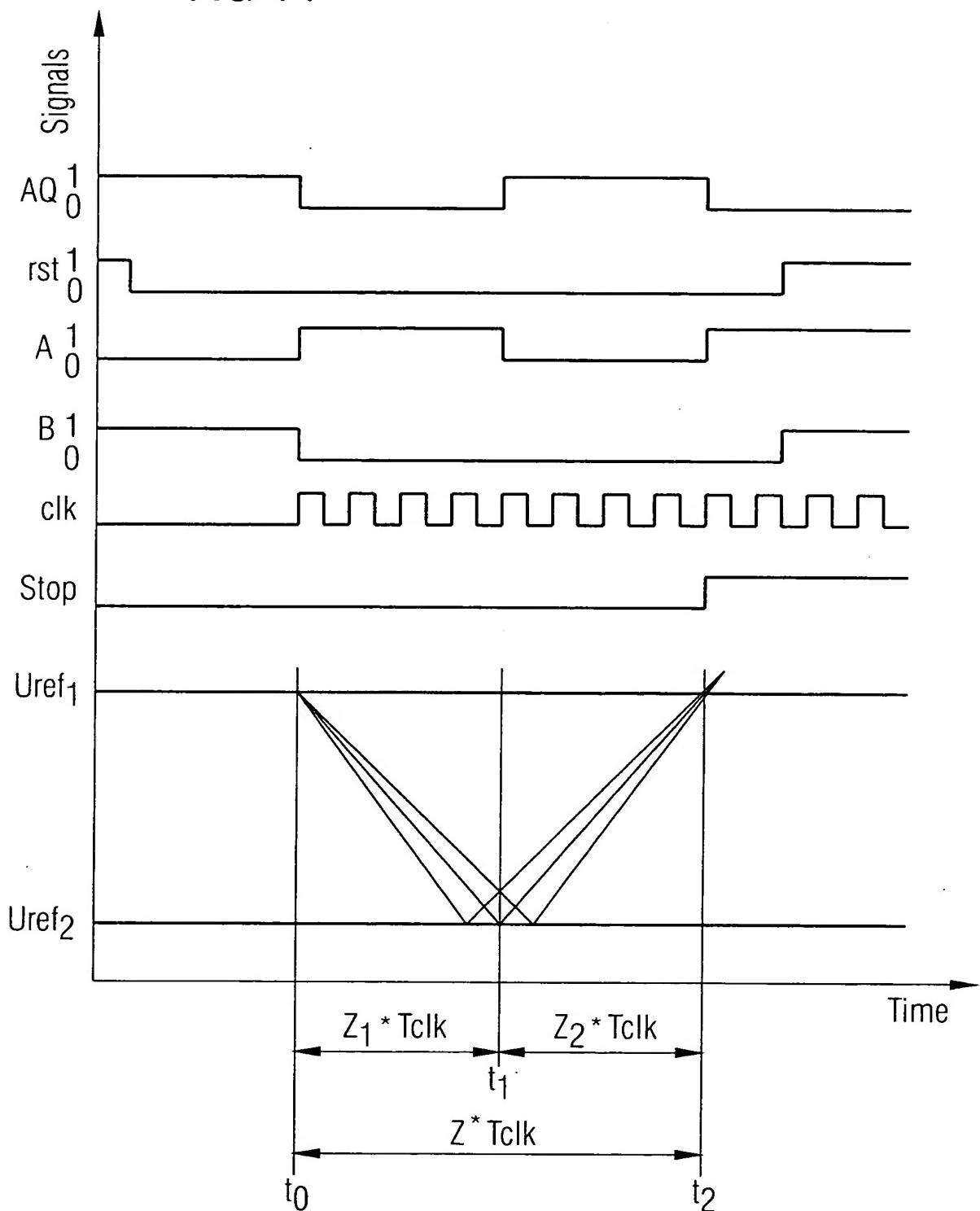


FIG 11



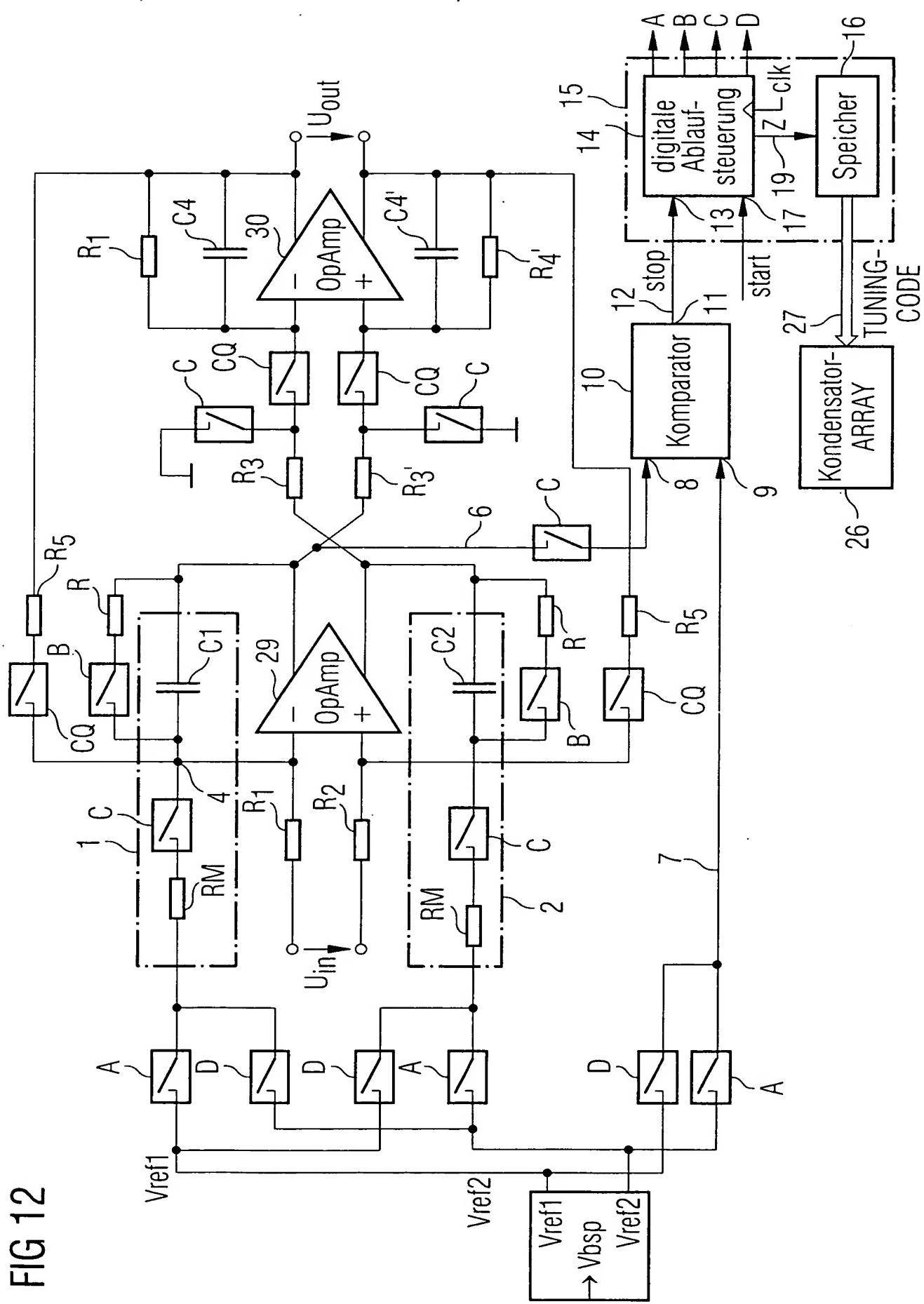


FIG 4

